

熱間工具鋼 (HDC) 使用についての諸検討

栗本 暢夫* 根本 正**

Some Studies on Using the Hot Working Tool Steel (H D C)

By Nobuo Kurimoto, Tadashi Nemoto

Hitachi Electric Wire & Cable Works, Hitachi Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

An important role is played for the extrusion press in Hitachi Electric Wire & Cable Works, Hitachi, Ltd. and elsewhere by the hot working tool steel (HDC), made at Yasugi Works, Hitachi, Ltd.

We studied certain mechanical properties, mass effect and T. T. T. diagram of HDC to discover the best heat treatment for the steel applied directly to the spots.

The formula we found and put into practice was to quench at 1,050°C in 575°C Pb-bath, oil cooling, then 600°C tempering.

[I] 緒 言

熱間工具鋼は銅及び銅合金の如き非鐵金屬の押出しのみでなく、鋼管製造用クランクプレスに於ける各種工具に使用されており、これらの代表的成分としては C 0.3% Cr 2.5%, W 10%, V 0.3% の工具鋼が推奨されている。

この種の工具鋼は 600~700°C の高温且強力な壓縮及び引張應力の下で繰返し加熱冷却を受けながら使用されるので、このような苛酷な使用条件を満足させるためには高温度に於いて機械的強度、即ち硬度、強靱性及び耐磨耗性に優れたものが必要である。

筆者等は銅及び銅合金の押出しに最も適した熱間工具鋼を得るため、先ず HDC 鋼を使用した場合の熱処理について研究を行った。ここにこれらの研究結果及び工具使用上に於いて起きた二三の問題について述べる。

[II] 使用上の諸問題

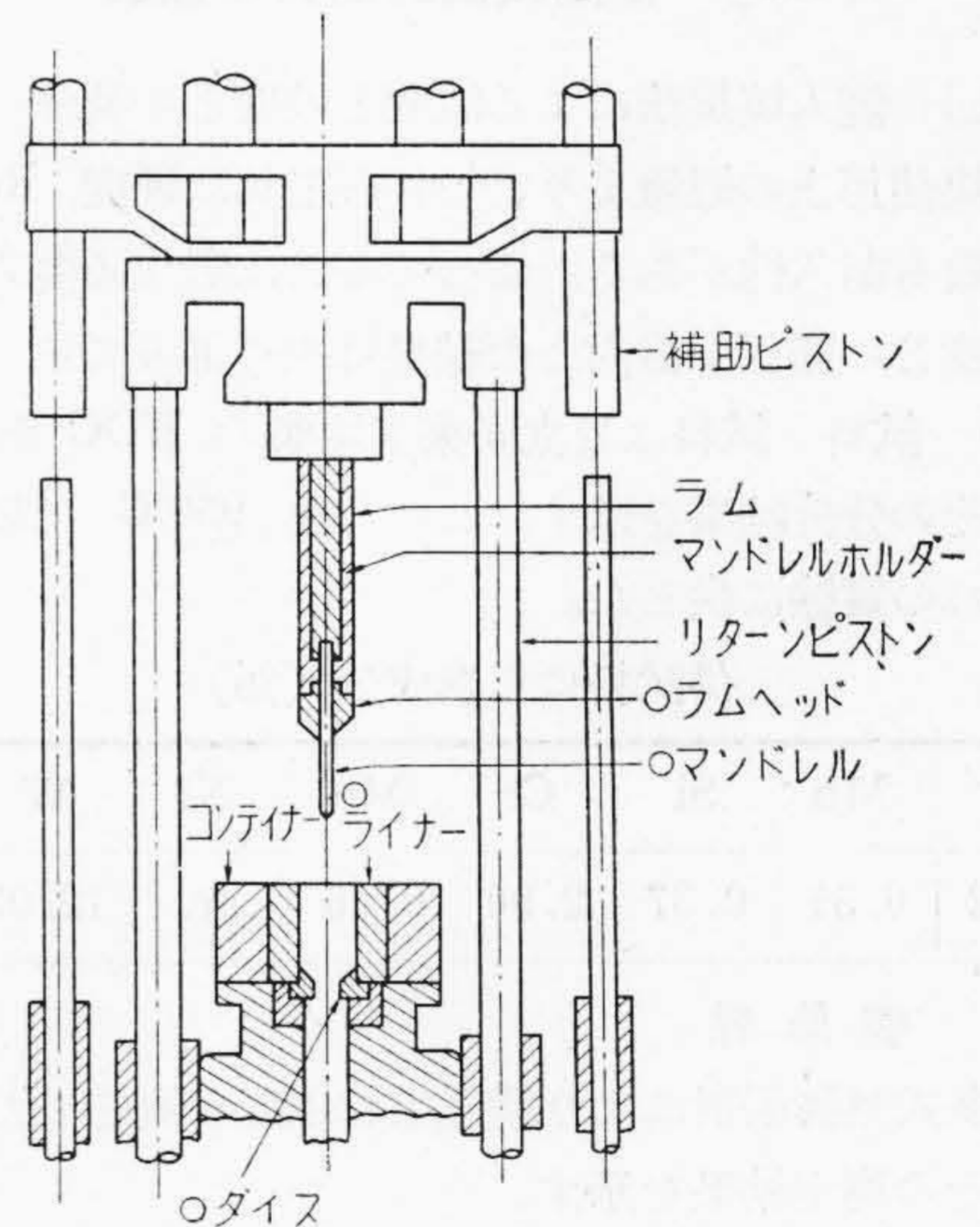
銅及び銅合金の押出し作業に於ける熱間工具鋼の使用箇所及び工具名は第 1 圖に示す通りである。

これら工具の耐久度に及ぼす因子は次の各項の組合されたもの、又は綜合されたものと考えられる。

- (1) ビレットの化學成分
- (2) ビレットの加熱温度、方法及び時間

* 日立製作所日立電線工場

** 日立製作所日立研究所



第 1 圖 押出機の部分断面圖

(○印：熱間工具鋼)

Fig. 1 Partial Sectional View of Extrusion Press.

(Mark ○: Hot Working Tool Steel)

- (3) 押出し作業方法、即ち押出し速度、冷却条件等
- (4) 工具豫熱温度及び時間
- (5) 機械並びに工具の精度
- (6) 工具の熱処理方法
- (7) その他

而して工具の消耗の状態及びその原因を挙げると、

(i) マンドレル

(a) 曲り 機械、工具の精度不良、心出し不良、工具のゆるみ、被加工金属の高温強度の過大、加熱温度の不適又は不均一等による。

(b) くびれ、ちぎれ。押出しの際の引張應力による。従つてピレットの材質寸法及び押出し素管の寸法等に著しく関係する。

(c) 割れ、残留オーステナイトのマルテンサイト化による変態應力、加熱冷却の際の熱應力等による。

(ii) ラムヘッド、ダイス及びライナー

(a) 割れ 変態應力、熱應力による。

(b) 變形 押出しの際の壓力による塑性變形及び磨耗等による。

上記の如く工具の耐久度に及ぼす因子は種々あるが、最も重要な因子としては工具鋼の材質及びその材質に最適の熱処理方法を見出すことである。

これらに就いては既に研究の結果¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾が発表されているが、更に筆者等の実験結果を述べ諸先輩の御批判を乞う次第である。

[III] 各種機械的性質の検討

(1) 焼入焼戻法による温度と硬度との関係

現場使用上の経験より、これら工具は硬度 Rc 45 附近で最も耐久性がある。よつてこれに対する焼入及び焼戻温度との関係を検討した結果は次の通りである。

(i) 試料 試料は日立安来工場製の HDC 鋼で、次表はその分析結果を示す。これらは 950°C で焼準後それぞれの実験に供した。

供試料の化学成分 (%)

| C | Mn | Si | Cr | Mo | Ni | W | V |
|------|------|------|------|------|-----|-------|------|
| 0.32 | 0.51 | 0.37 | 2.90 | 0.46 | tr. | 12.07 | 0.23 |

(ii) 変態点

本多式熱膨脹計により変態生起温度を測定した。第 2 圖はその測定結果を示す。

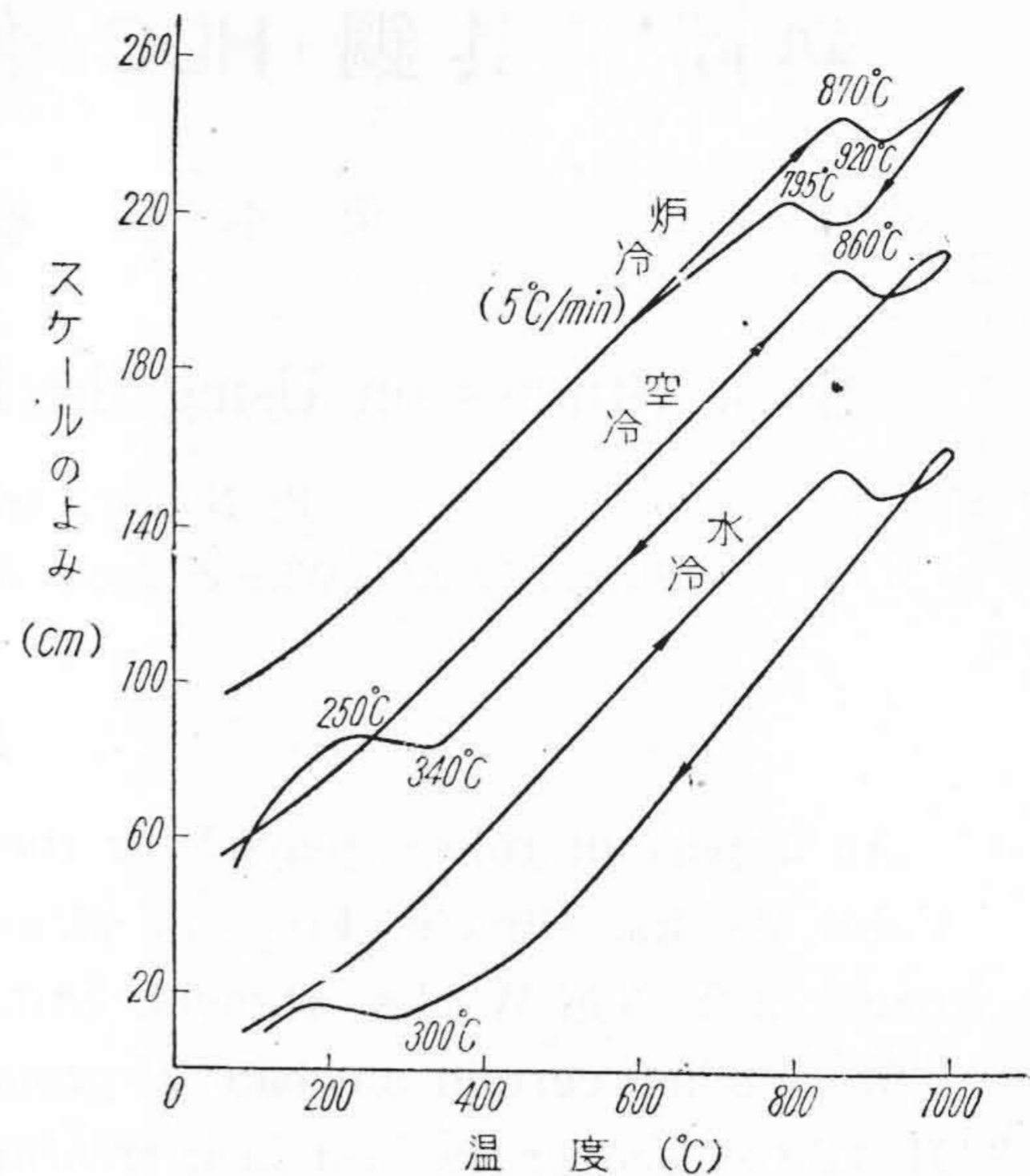
(iii) 焼入及び焼戻温度と硬度との関係

焼入温度 975~1,100°C (保持時間 25 分) より夫々油焼入を行い、夫々 550~650°C 間の各温度で焼戻を行った結果は第 3 圖乃至第 5 圖に示す。

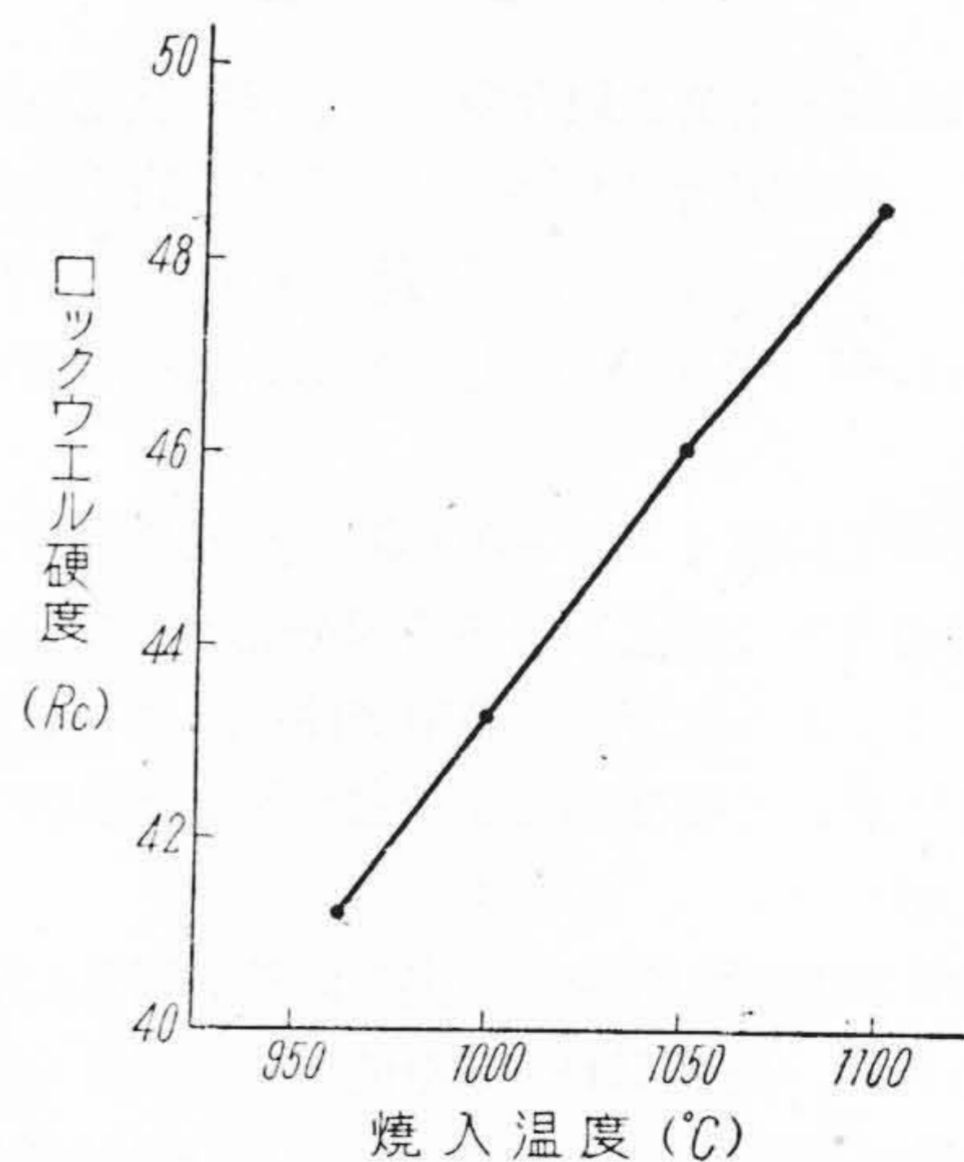
(a) この結果より焼入温度が高くなる程硬度を増す。これは炭化物の γ 中に固溶する量が増すことによることが検鏡により認められた。

(b) 600°C 以上の焼戻温度では硬度が急激に低下する。

(c) 550~650°C の焼戻範囲では 2 回焼戻の方が硬度が高い。



第 2 圖 熱膨張曲線 (HDC 鋼)
Fig. 2 Thermal Expansion Curve.
(HDC Steel)



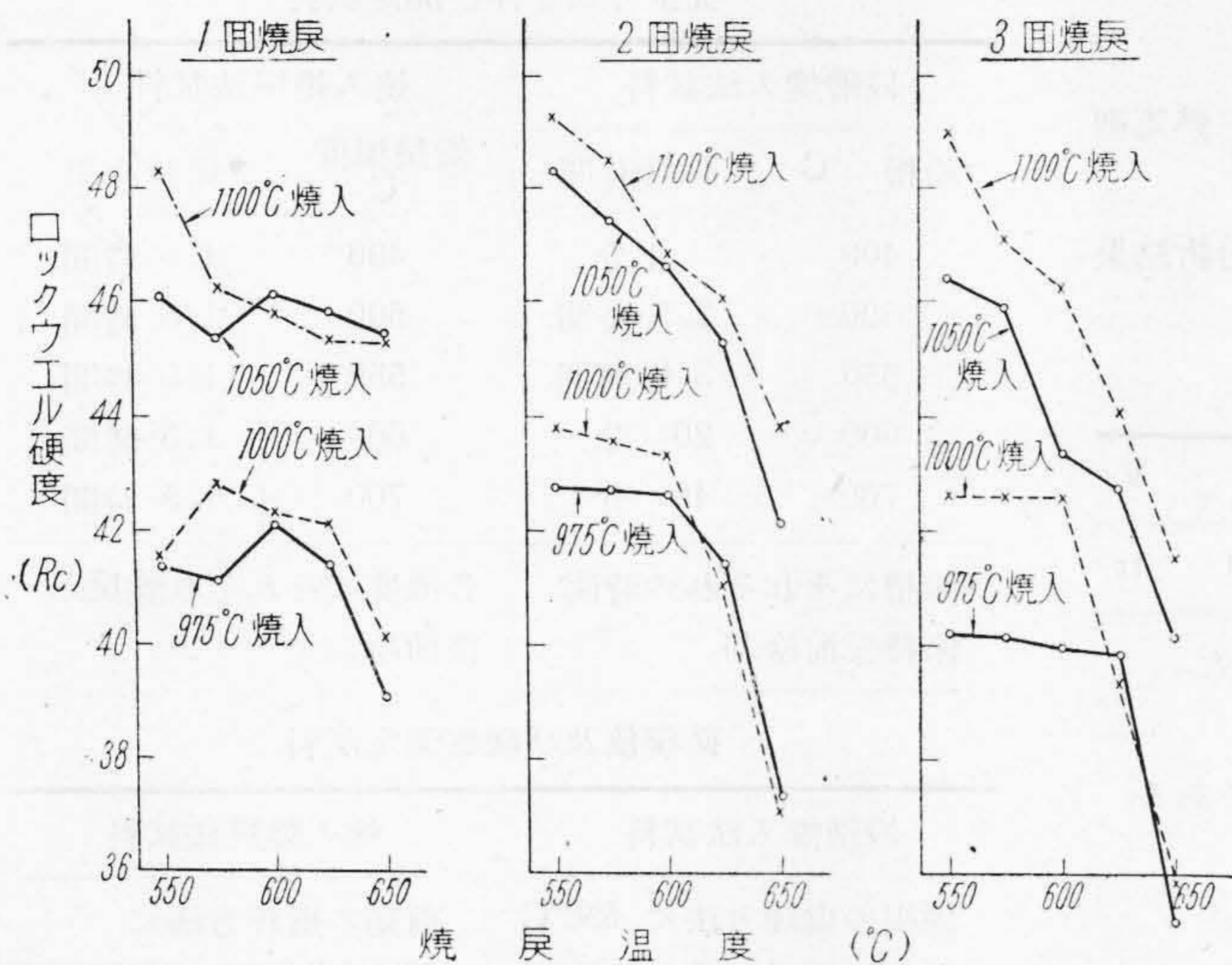
第 3 圖 焼入温度と硬度との関係
Fig. 3 Relation between Quenching
Temperatures and Rockwell
Hardnesses.

(d) 600°C 以上の焼戻温度では回数の増加と共に硬度が低下する。

(e) 連続焼戻の場合に於いては繰返し焼戻の場合より硬度が低くなる。

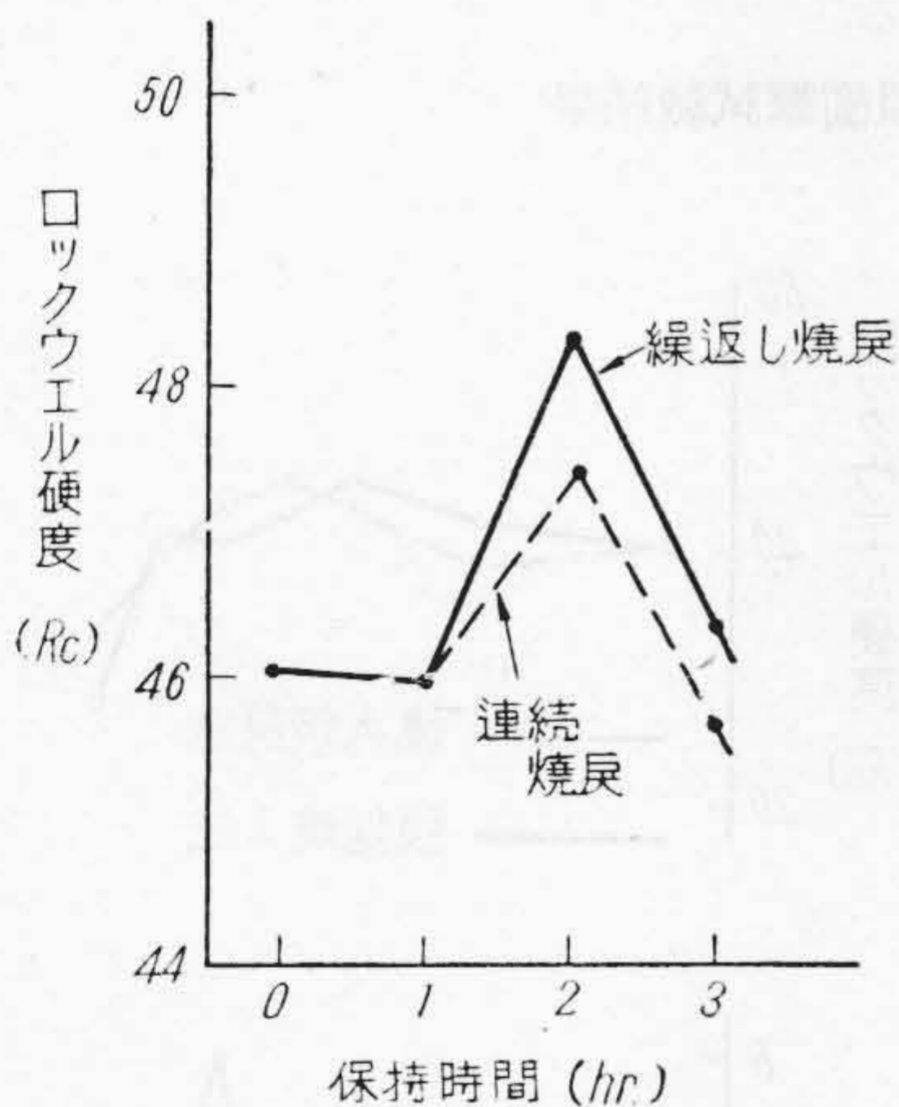
従つて硬度 Rc 45 を得るためには、1,050°C 焼入、575°C±10°C 焼戻が適当と考えられる。

しかしながらこの材料の熱処理による硬度の効果は炭



第4圖 焼戻温度と硬度との関係

Fig. 4 Relation between Tempering Temperatures and Rockwell Hardnesses.



第5圖 繰返し及び連続焼戻の硬度の比較
(焼入 1,050°C, 焼戻 550°C)

Fig. 5 Comparison of Repeated and Continuous Tempering Hardnesses.
(Quenching 1,050°C, Tempering 550°C)

素量が最も大きな影響³⁾⁴⁾⁷⁾を與えるので、この點を充分考慮に入れる必要があり、標準成分の C 0.3% が現在すべての點で良好な結果を示している。

(2) 高温機械的性質

(i) 試料 同じく HDC 鋼で次表はその分析結果を示す。

供試料の化學成分 (%)

| C | Mn | Si | Cr | Mo | Ni | W | V |
|------|------|------|------|------|----|------|------|
| 0.26 | 0.42 | 0.15 | 2.32 | 0.32 | — | 8.51 | 0.23 |

試料は前項の結果より 1,050°C より油焼入、575°C±10°C で焼戻を行い実験に供した。

(ii) 試験結果

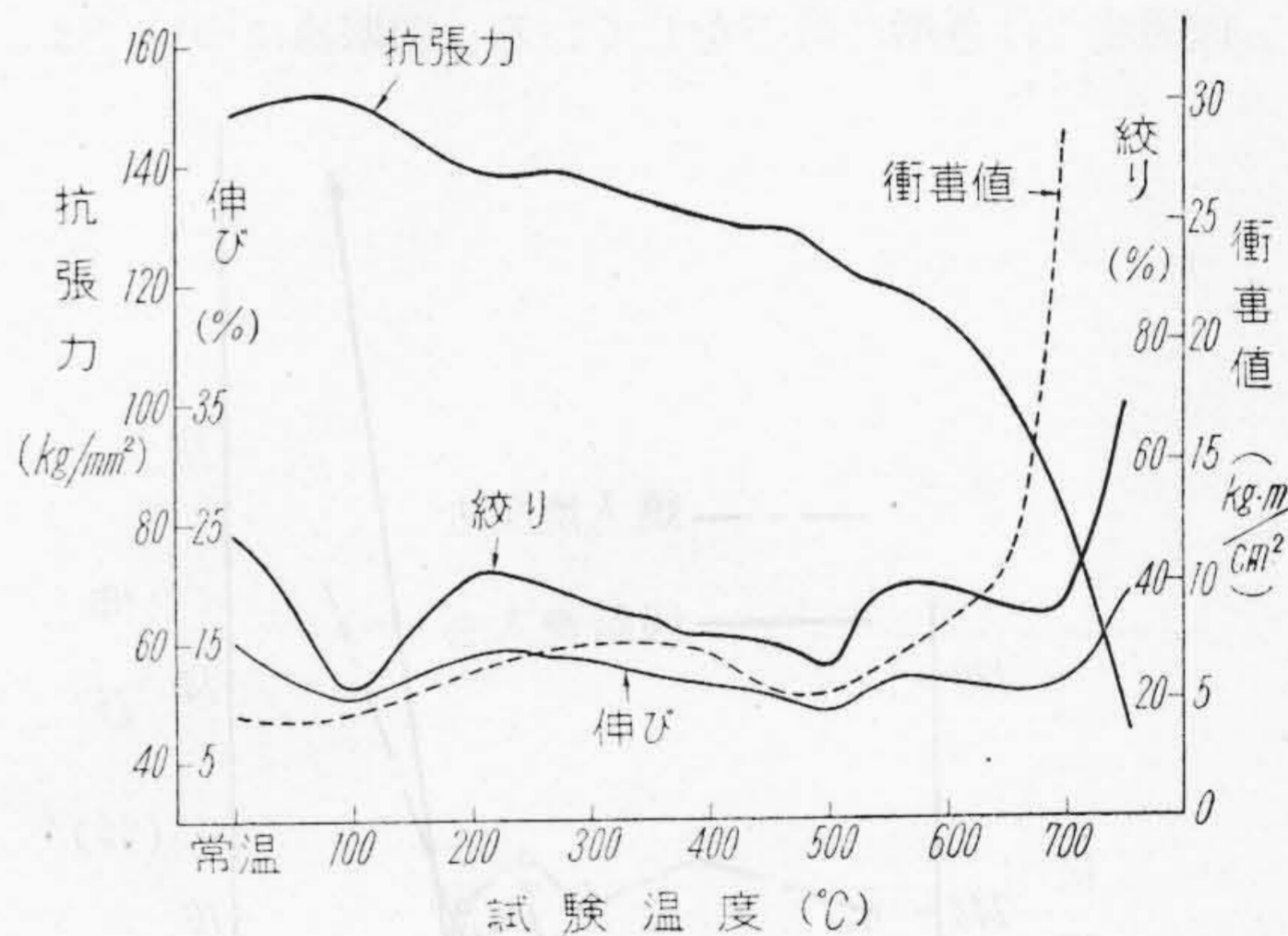
試験方法は 20 t アムスラー万能試験機及び 30kg シャルピー型衝撃試験機を用い、引張りの場合は管状電気爐で試料を加熱し、所定温度に達してから約 20 分保持し約 2 分間で切断するようにした。

衝撃試験の場合は豫め所定温度よりやや高く加熱された試料を手早く加熱爐より取出し、試験機に取付け一定時間経過後所要温度に達した時に衝撃するようにした。

これらの結果は第6圖に示す。

即ちこの鋼は熱間工具鋼として使用し得るのは約 600°C まで、それ以上では強度は急激に低下し變形を來すことになる。依つて使用温度が 600°C 以上にならぬよう作業方法特に工具の冷却方法を考えねばならない。

なお炭素量が増して 0.3% 位になると若干高温側に上昇する事が考えられる。



第6圖 高温機械的性質

(試料: 1,050°C 油焼入、575°C 焼戻)

Fig. 6 Mechanical Properties on High Temperatures. (Sample: From 1,050°C Oil quenching, Tempering at 575°C)

(3) 各熱処理法による機械的性質

この熱間工具鋼は前述のように C 0.3%, W 10%, Cr 2.5% の高級特殊鋼であり、形状複雑なラムヘッド、大物のライナー、太物マンドレル等では油焼入による焼割れが生じ、又はマイクロクラック (microcrack) のため使用途中に於いて割れが促進されるので、所謂段階焼入法の採用が適當であると考えられるので、後述するように恒温變態圖 (T. T. T. Diagram) を求めこれに基き各

種の熱処理を施してその機械的性質を調査した。

(i) 常溫機械的性質

この實驗はすべて、現場に於いて實作業と同じ熱処理を施した試料について行つた。

(a) 試料：本實驗も HDC 鋼を用い、その分析結果は次表に示すものである。

供試料の化學成分 (%)

| C | Si | Mn | Ni | Cr | W | Mo | V |
|------|------|------|------|------|------|------|----|
| 0.25 | 0.49 | 0.83 | 0.28 | 2.61 | 9.10 | 0.54 | tr |

試料は 950°C で焼準を行つて後熱処理を施した。

(b) 熱處理試料

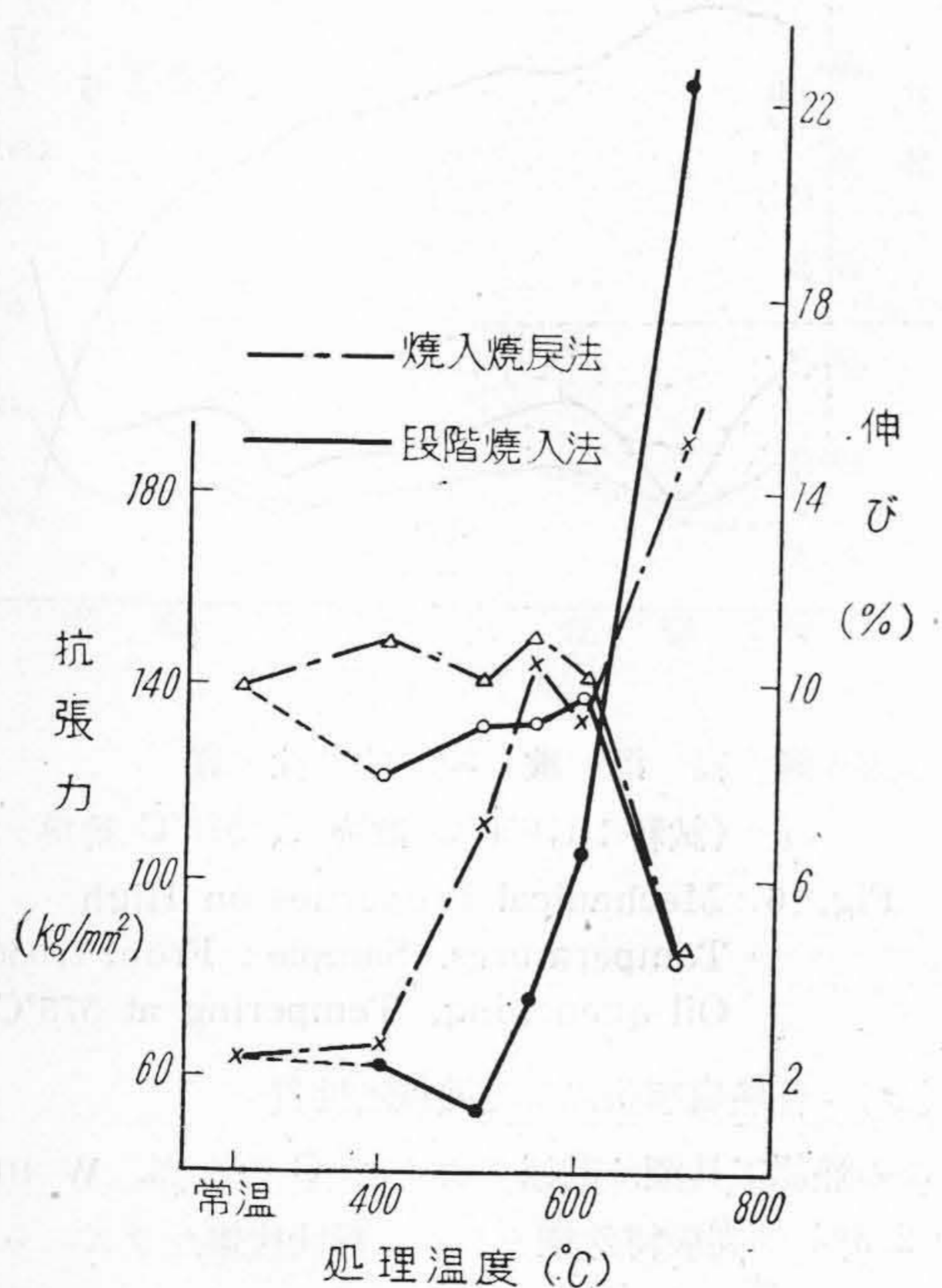
焼入溫度はすべて 1,050°C, 保持時間 20 分である。

(c) 試驗結果

試驗結果については第 7 圖及び第 8 圖に示す。

これらの結果によれば兩焼入法による機械的性質の差異は、抗張力、伸びについては焼入焼戻法が幾分良好であるが、600°C 附近で處理したものは大差がなく、600°C を超えると何れも抗張力が急激に低下し、伸びが増大する。

硬度については兩者殆ど差異がなく 600°C 以上の處理溫度では急激に低下をしている。衝撃値については、



第 7 圖 熱處理法に依る機械的性質の比較(1)
(常溫)

Fig. 7 Comparison of Mechanical Properties for Two Kinds of Heat-treatments(1)
(At Room Temperature).

抗張力及び伸び測定試料

| 段階焼入法試料 | | 焼入焼戻法試料 | |
|---------|--------|---------|--------|
| 鉛槽 °C | 保持時間 | 焼戻溫度 °C | 保持時間 |
| 400 | 1 分 | 400 | 1.5 時間 |
| 500 | 2.5 時間 | 500 | 1.5 時間 |
| 550 | 3.0 時間 | 550 | 1.5 時間 |
| 600 | 20 分 | 600 | 1.5 時間 |
| 700 | 40 分 | 700 | 1.5 時間 |

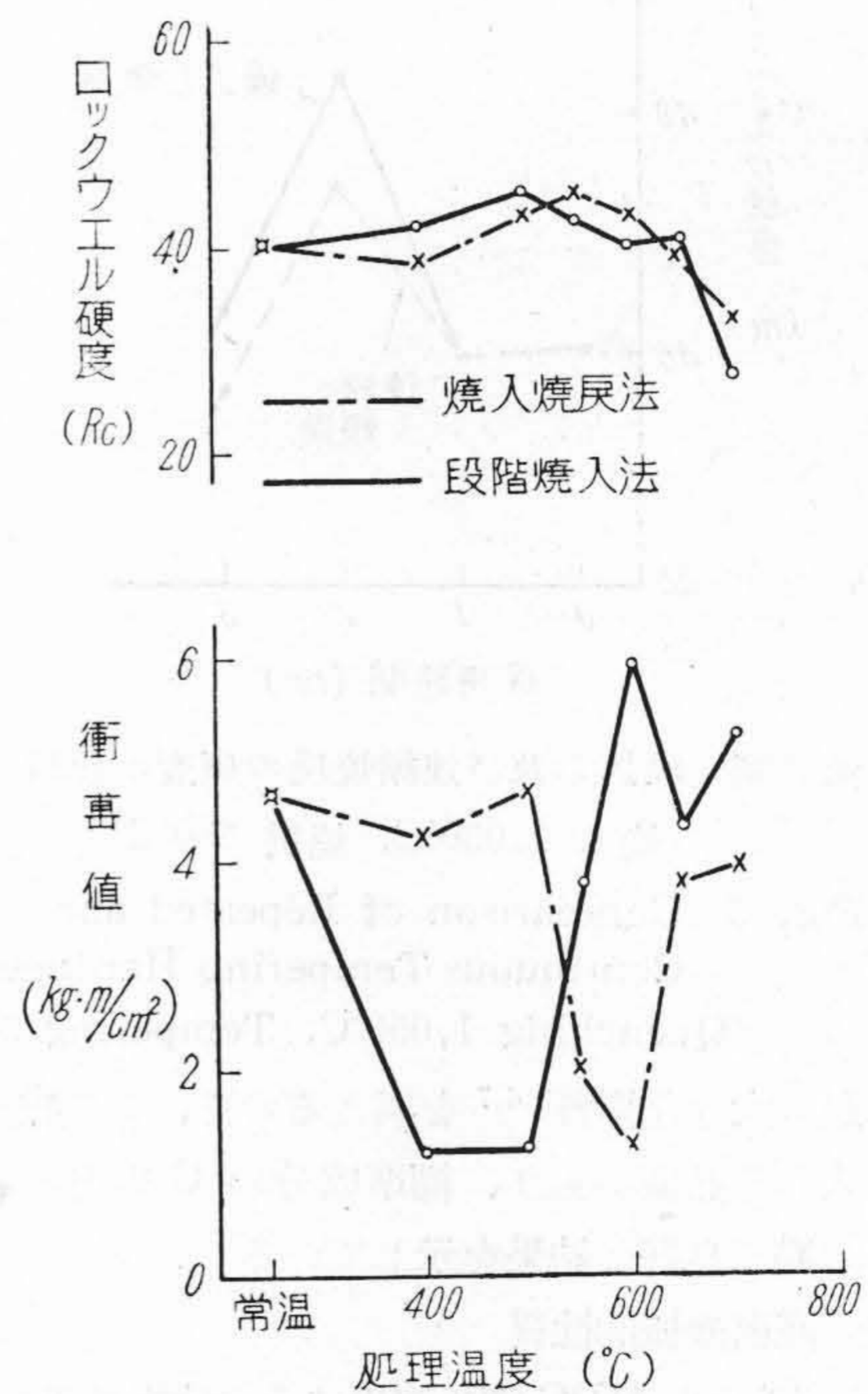
鉛槽にそれぞれの時間保持後油冷却
各溫度でそれぞれ焼戻し後油冷却

衝撃値及び硬度測定試料

| 段階焼入法試料 | 焼入焼戻法試料 |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 前掲の處理方法に 650°C 保持時間 15 分の方法を追加する。 | 前掲の處理方法に 650°C, 保持時間 1.5 時間の方法を追加する。 |

550°C 以上の處理溫度では段階焼入法の方が非常に良くなつている。

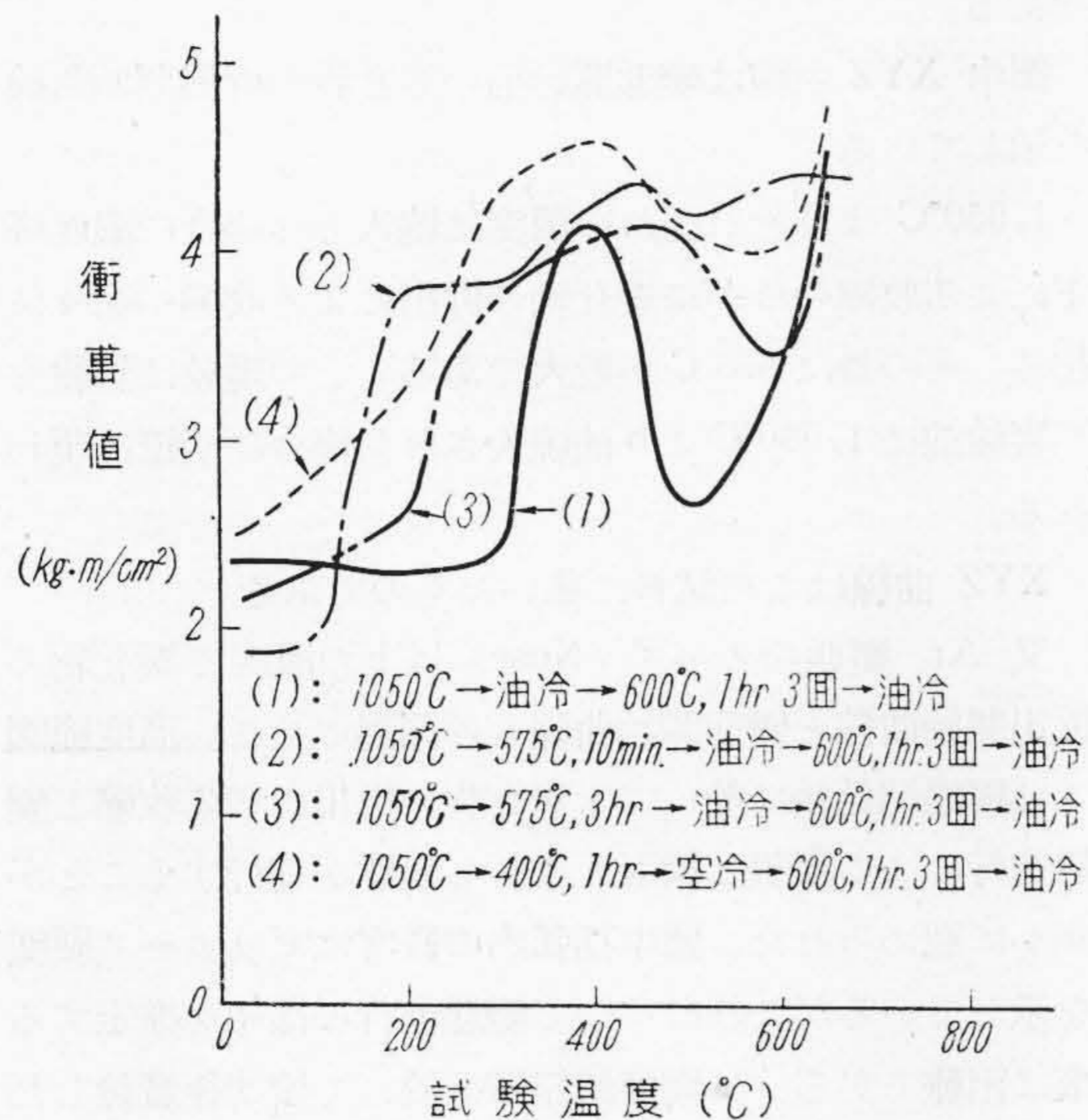
(ii) 高溫衝撃試驗結果



第 8 圖 熱處理法に依る機械的性質の比較(2)
(常溫)

Fig. 8 Comparison of Mechanical Properties for Two Kinds of Heat-treatments(2)
(At Room Temperature).

(a) 試料：本実験に用いた試料の分析結果は下表の通りである。



第9圖 各熱処理法に依る高温衝撃値の比較
 Fig. 9 Comparison of Impact values on High Temperature for Several Heat-treatment.

供試料の化学成分 (%)

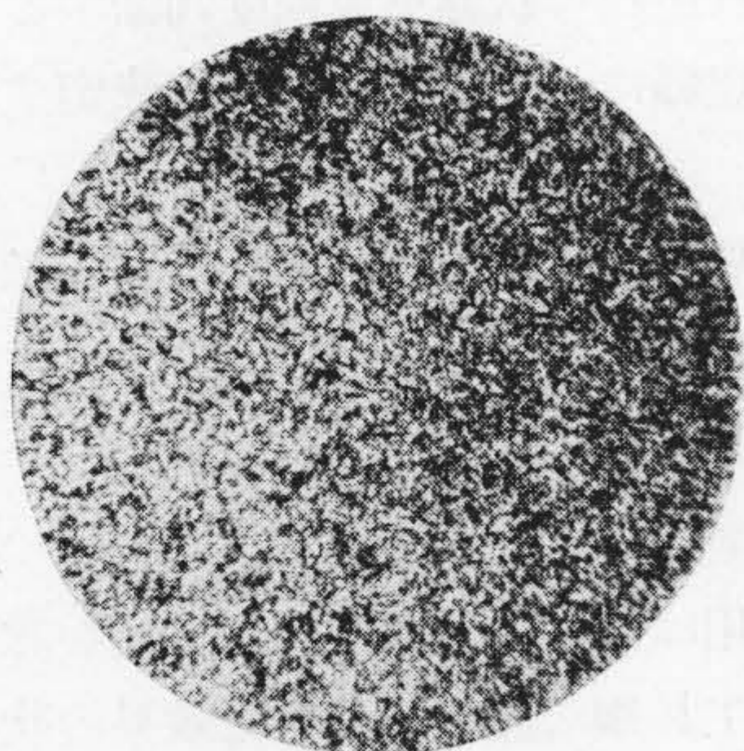
| C | Si | Mn | Cr | W | Mo | V |
|------|------|-----|------|------|------|------|
| 0.29 | 0.19 | 0.4 | 2.75 | 9.95 | 0.17 | 0.35 |

(b) 熱処理法

- No. 1 1,050°C → 油冷 → 600°C, 1時間焼戻3回
- No. 2 1,050°C → 575°C, 10分 → 油冷 → 600°C, 1時間焼戻3回。
- No. 3 1,050°C → 575°C, 3時間 → 油冷 → 600°C, 1時間焼戻3回。
- No. 4 1,050°C → 400°C, 1時間 → 空冷 → 600°C 1時間焼戻3回。

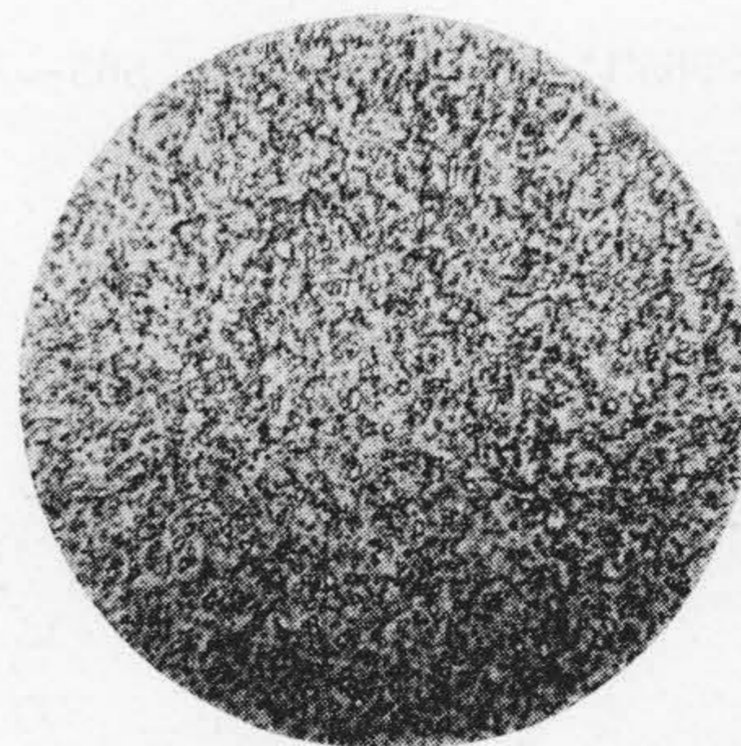
(c) 衝撃試験結果

30 kg シャルピー衝撃試験機を用い常温より 650°C の間の各温度に於いて衝撃試験を行った。加熱は管状電気炉を用い各温度に 30 分間保持後試験した結果は第9圖に示す。即ち 400°C までは何れも温度上昇と共に衝撃値も上昇するが、450~600°C に於いて高温脆性による低下が認められる。大體に於いて No. 4 試料が良い結果を示し、No. 2, No. 3 これに次ぎ油焼入焼戻法の No. 1 は最も低い値を示している。第10圖乃至第13



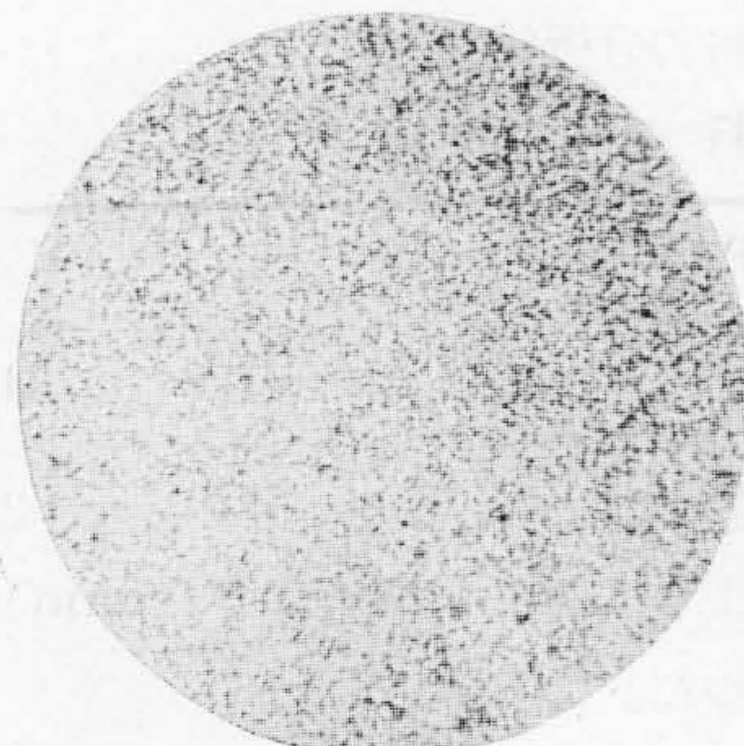
第10圖
 試料 No. 1 の顯微鏡組織 (×300)
 1,050°C → 油冷 → 600°C
 1 hr. 焼戻 3回

Fig. 10 Micro-structure of Sample No. 1 (×300) Oil Quenching from 1,050°C, Tempering at 600°C, 1 hr. Three Times.



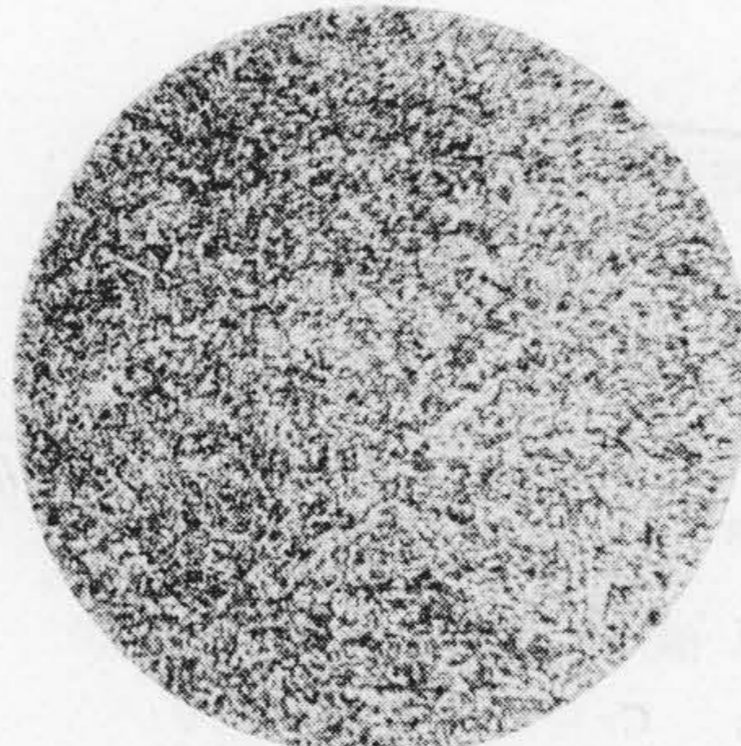
第12圖
 試料 No. 3 の顯微鏡組織 (×300)
 1,050°C → 575°C, 3 hr. → 油冷 → 600°C, 1 hr. 焼戻 3回

Fig. 12 Micro-structure of Sample No. 3 (×300) Quenching in 575°C Pb-Bath, 3 hr. from 1,050°C, Tempering at 600°C, 1 hr. Three Times.



第11圖
 試料 No. 2 の顯微鏡組織 (×300)
 1,050°C → 575°C, 10分 → 油冷 → 600°C, 1 hr. 焼戻 3回

Fig. 11 Micro-structure of Sample No. 2 (×300) Quenching in 575°C-Pb-Bath, 10 min. from 1,050°C, Tempering at 600°C, 1 hr. Three Times.



第13圖
 試料 No. 4 の顯微鏡組織 (×300)
 1,050°C → 400°C, 1 hr. → 油冷 → 600°C, 1 hr. 焼戻 3回

Fig. 13 Micro-structure of Sample No. 4 (×300) Quenching in 400°C Pb-Bath, 1 hr. from 1,050°C, Tempering at 600°C, 1 hr. Three Times.

圖までの寫眞はこれらの顯微鏡組織を示している。No. 2, No. 3 の 575°C 處理試料は何れも炭化物の析出がみられ保持時間増加と共にその量が多くなっているのが認められる。これらの結果は前記常温に於ける場合と殆ど一致した傾向を示すものである。

[IV] 恒溫變態圖 (T.T.T. Diagram)

(1) 試料及び實驗

試料はディラト試験片 5φ×70 l 及び顯微鏡試験片 8φ×15 l を用いた。次表は試料の分析結果を示す。

供試料の化學成分 (%)

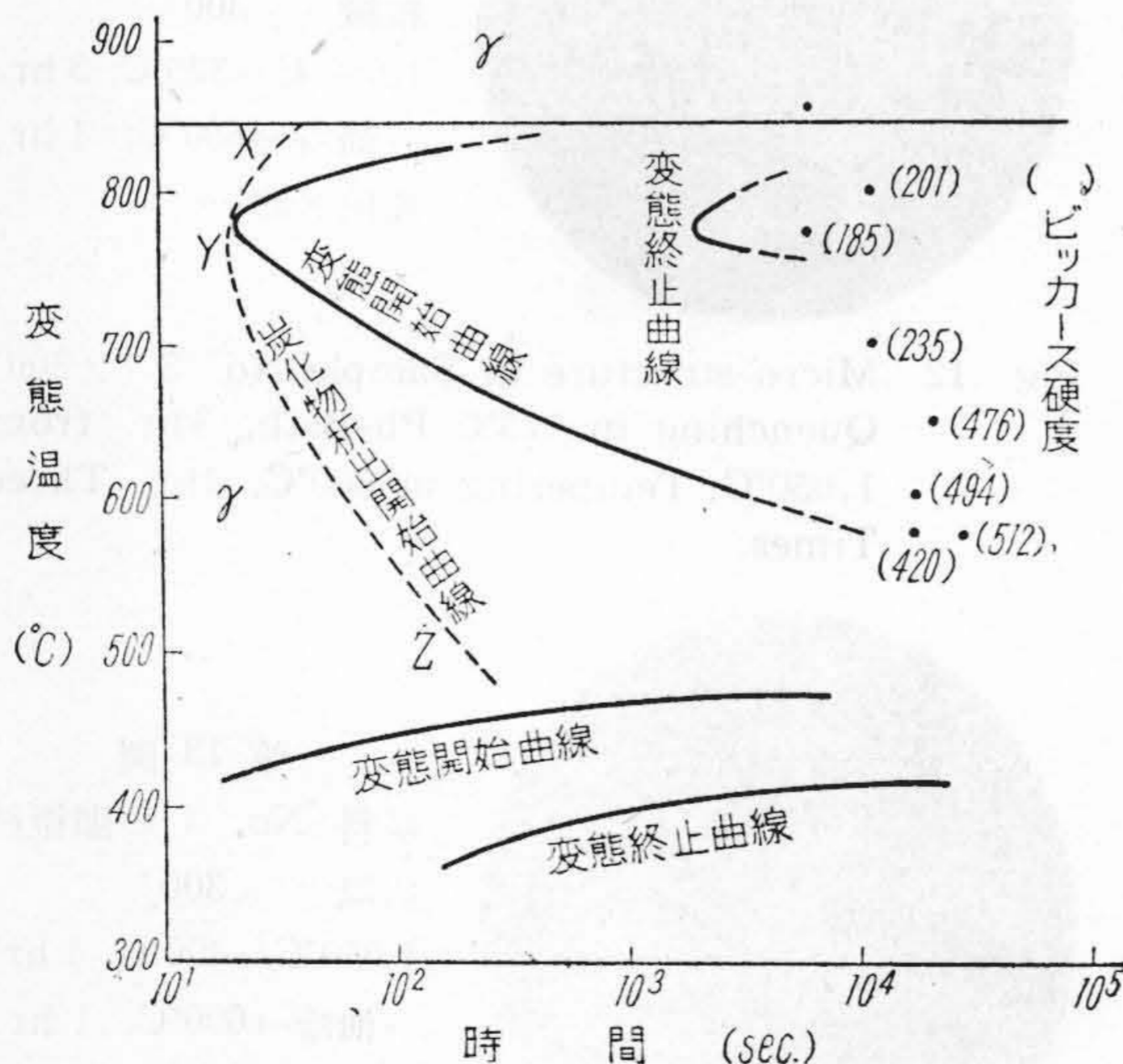
| C | Si | Mn | Cr | W | Mo | V |
|------|------|-----|------|------|------|------|
| 0.29 | 0.19 | 0.4 | 2.75 | 9.95 | 0.17 | 0.35 |

先ず本多式熱膨脹計により變態生起溫度を測定した。ついで佐藤式自記焼入装置を用い最高加熱溫度 1,050°C より 800~400°C 間の種々の溫度に保たれた熱浴中に焼入れ、時間—膨脹收縮曲線を求めこれにより恒溫變態圖を求めた。更に使用した試料のビッカース硬度を測定し、又同試料の檢鏡を行い恒溫變態圖の決定の参考とした。

(2) 結果:

變態は加熱の場合 845~965°C, 冷却の場合 865~775°C でそれぞれ生起する。

第 14 圖は HDC 鋼の恒溫變態圖を示す。



第 14 圖 HDC 鋼の恒溫變態圖

| C | Si | Mn | Cr | W | Mo | V |
|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.29 | 0.19 | 0.41 | 2.75 | 9.95 | 0.17 | 0.35 |

最高加熱溫度 1050°C

Fig. 14 T.T.T. Diagram of HDC-Steel.

| C | Si | Mn | Cr | W | Mo | V |
|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.29 | 0.19 | 0.41 | 2.75 | 9.95 | 0.17 | 0.35 |

Maximum Heating Temp. 1050°C.

即ち 780°C 附近及び 400°C 以下では變態速度が大で 575~500°C の範圍では變態速度が極めて小で γ が安定である。

圖中 XYZ 曲線は變態開始前の炭化物の析出開始曲線を示している。

1,050°C よりそれぞれの溫度に焼入した場合に溫度降下による收縮のほかに炭化物の析出による收縮が徐々に起る。その量は 575°C が最大である。この現象は試験片が實驗前に 1,050°C より油焼入された場合に明瞭に現われる。

XYZ 曲線はこの試料に基いたものである。

又 Ar₁ 變態のノーズ (Nose) 以下の溫度で炭化物の析出開始曲線と變態開始曲線との間隔のせまい溫度範圍では變態開始後に於いても炭化物の析出による收縮と變態進行による膨脹と繰返しながら變態が進行することが明かに認められた。圖中括弧内の數字はビッカース硬度を示しているがこれによつて變態進行の様相を推定する事は困難である。又顯微鏡組織に於いて焼準後實驗したものは焼入後實驗したものに比し炭化物の球狀化する量が少いことが認められた。この事は變態溫度 600~575°C に於いて特に顯著である。

この鋼のように結晶粒の微細なものについては第 10 圖~第 13 圖の如く、それぞれの状態を或程度判断することは出来るが、顯微鏡組織により恒溫變態圖を決定する事は困難であろう。

400°C 以下の低温側に於いても色々と複雑な變化を示すがこれらについては目下検討中である⁴⁾⁵⁾⁶⁾。

[V] 質量效果

實驗室の研究結果の應用は直ちに現場作業の成功を意味するものでなく、この工具鋼に於いても質量效果の状況を明確に把握することが最も大切なことである。このためその一端をうかがい知るため各種熱處理試料の内部硬度分布を測定した。

(1) 試料 次表は試料の分析結果を示す。

供試料の化學成分 (%)

| C | Si | Mn | P | S | W | Cr | V |
|------|------|------|-------|-------|------|------|------|
| 0.37 | 0.35 | 0.50 | 0.018 | 0.035 | 8.29 | 3.53 | 0.34 |

實驗試料は 60φ 素材を切斷して、60φ×73 l とし、2 箇 1 組にし兩者嵌合するように加工 (嵌合深さ 1 mm) し、ニクロム線でしばつた。

(2) 熱處理方法

現場に於いて使用されている設備を用い、次の 5 種類の熱處理を行つた。

すべて焼入溫度は 1,050°C, 保持時間 40 分である。

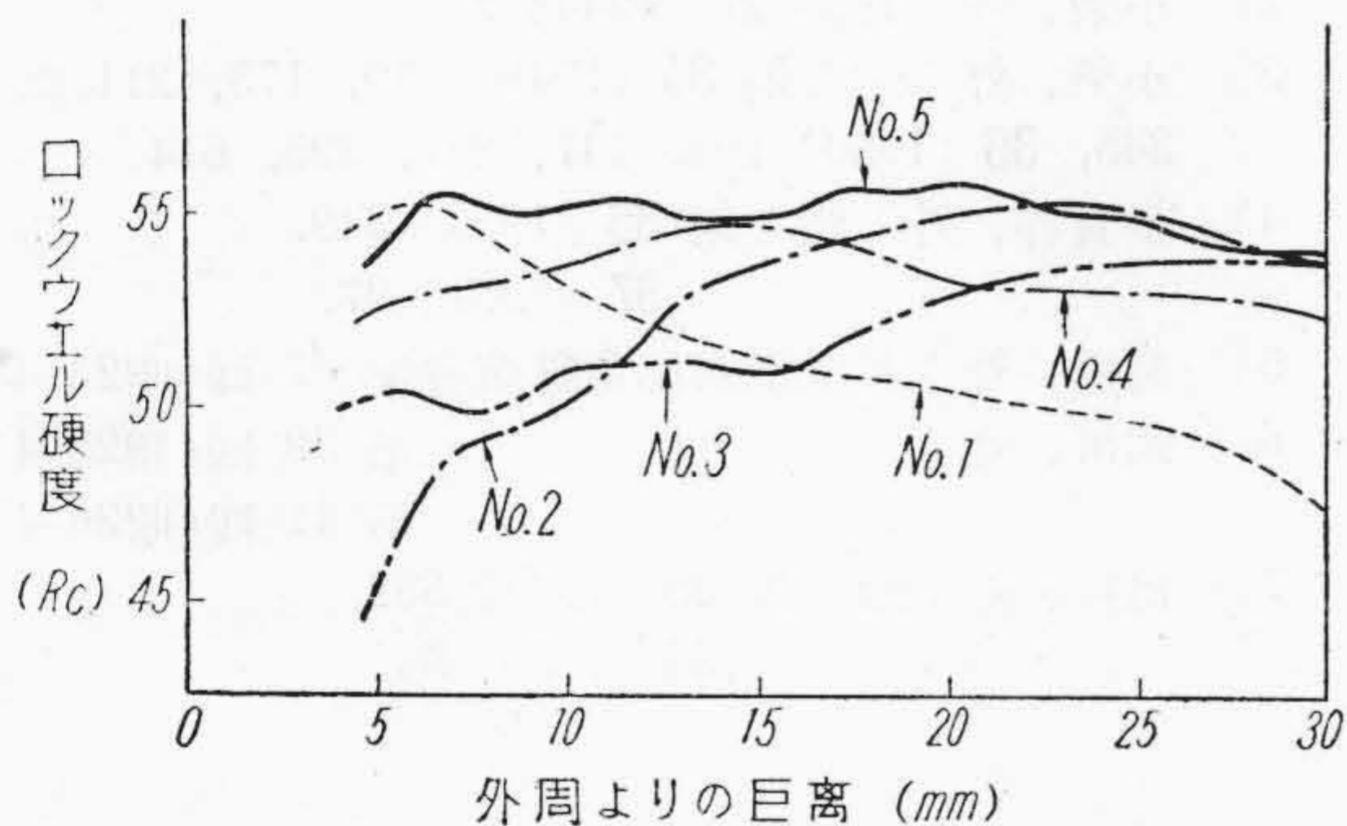
試料別の焼入法は次の通りで、これら焼入試料の嵌合部表面の硬度分析を測定した後、各試料を 600°C、3 時間焼戻後油冷、再び硬度分布を測定して比較を行った。

| 試料番号 | 焼入法 |
|-------|---------------------|
| No. 1 | 水中焼入 (水温 20°C) |
| No. 2 | 油焼入 (種油、油温 35°C) |
| No. 3 | 400°C 鉛槽、1 時間保持後油冷 |
| No. 4 | 575°C 鉛槽、40 分間保持後油冷 |
| No. 5 | 575°C 鉛槽、3 時間保持後油冷 |

(3) 実験結果

硬度測定はすべてロックウェル硬度計 (C-scale) を用いた。これらの結果は第 15 圖乃至第 18 圖に示す。

第 15 圖、第 16 圖はそれぞれ焼入後並びに焼戻後の各試料の硬度分布の比較を示し、第 17 圖、第 18 圖は各試料毎の焼入後及び焼戻後の硬度分布の變化を示す。



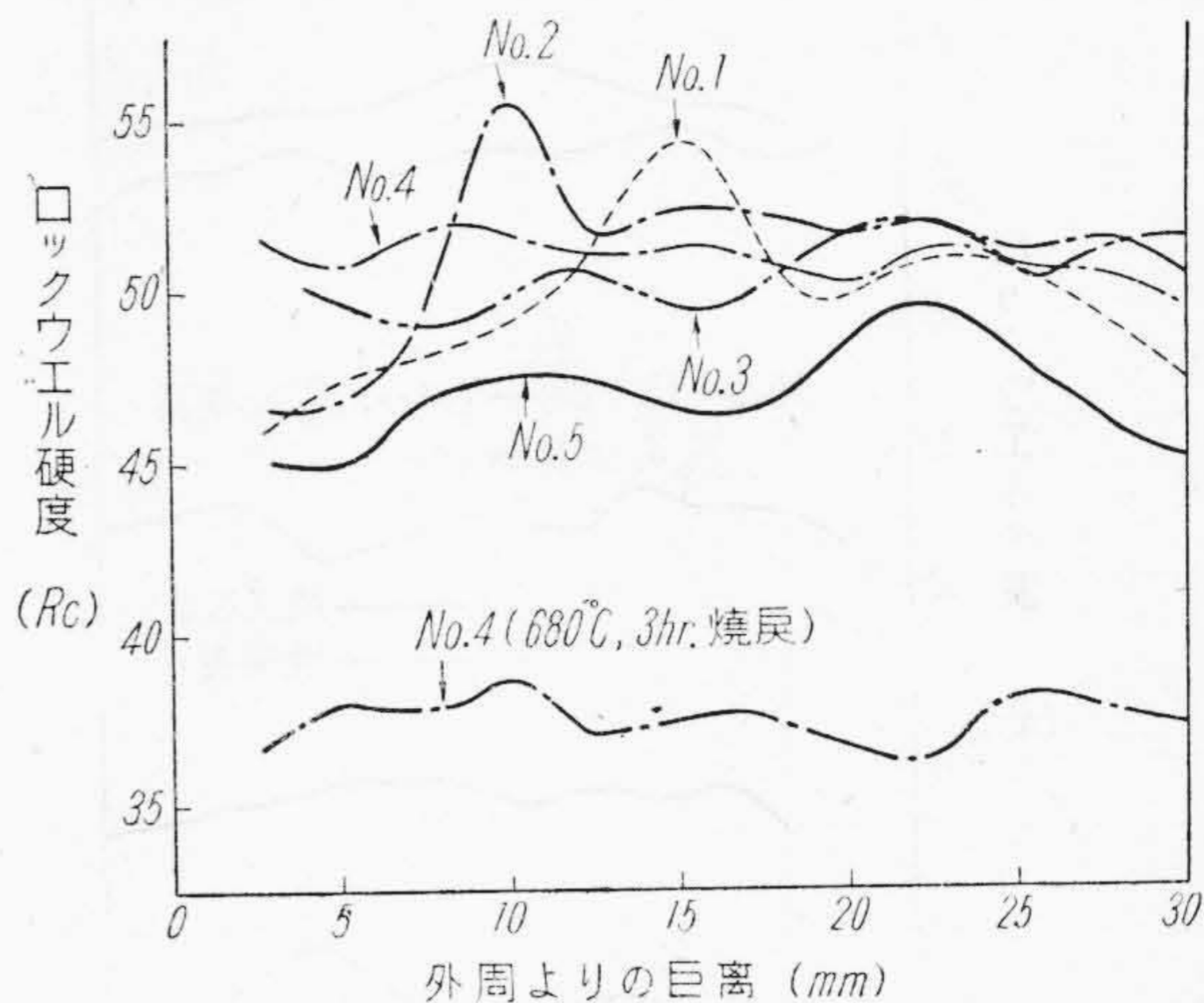
第 15 圖 各種焼入に依る硬度分布の比較 (何れも焼入のまゝ焼入温度 1,050°C)

Fig. 15 Comparison of Rockwell Hardness-Distributions for Each Quenching Sample. (At Quenching from 1,050°C)

これらの結果より No. 1, No. 2 兩試料は周縁部と中心部との硬度差が甚しく、かつ兩者逆の現象を示している。これは冷却速度の影響と考えられる。又焼戻後兩者共に輪状に硬度の高い山を生じているのは此の部分に可成り不安定な残留オーステナイトが存在していたことによると推察される。

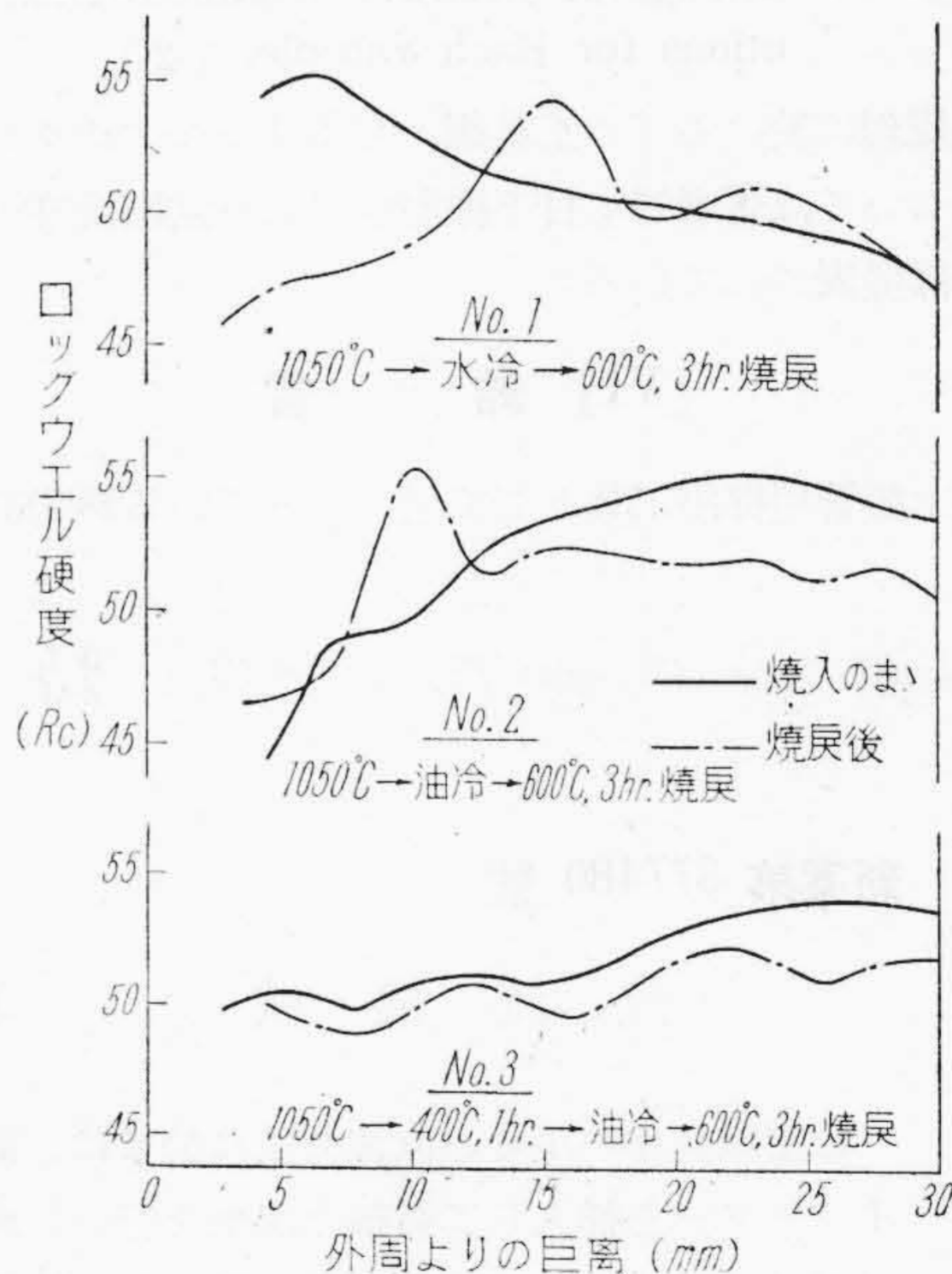
その他の試料については熱処理後の硬度分布は殆ど均一と見做されるが、焼入硬度に於いて 400°C 処理 (No. 3) が 575°C 処理 (No. 4, No. 5) より低くかつ 575°C 処理のうち時間の長い No. 5 の方が No. 4 よりも硬度が高いこと、並びに焼戻後の硬度が No. 4 が高く No. 3, No. 5 がこれに次いでいるということ、これらの現象は甚だ興味のある問題である。

なおこれら各試料の熱処理後、No. 4 試料を除いた他の試料はすべて焼入又は焼戻しの際に割れが入った。



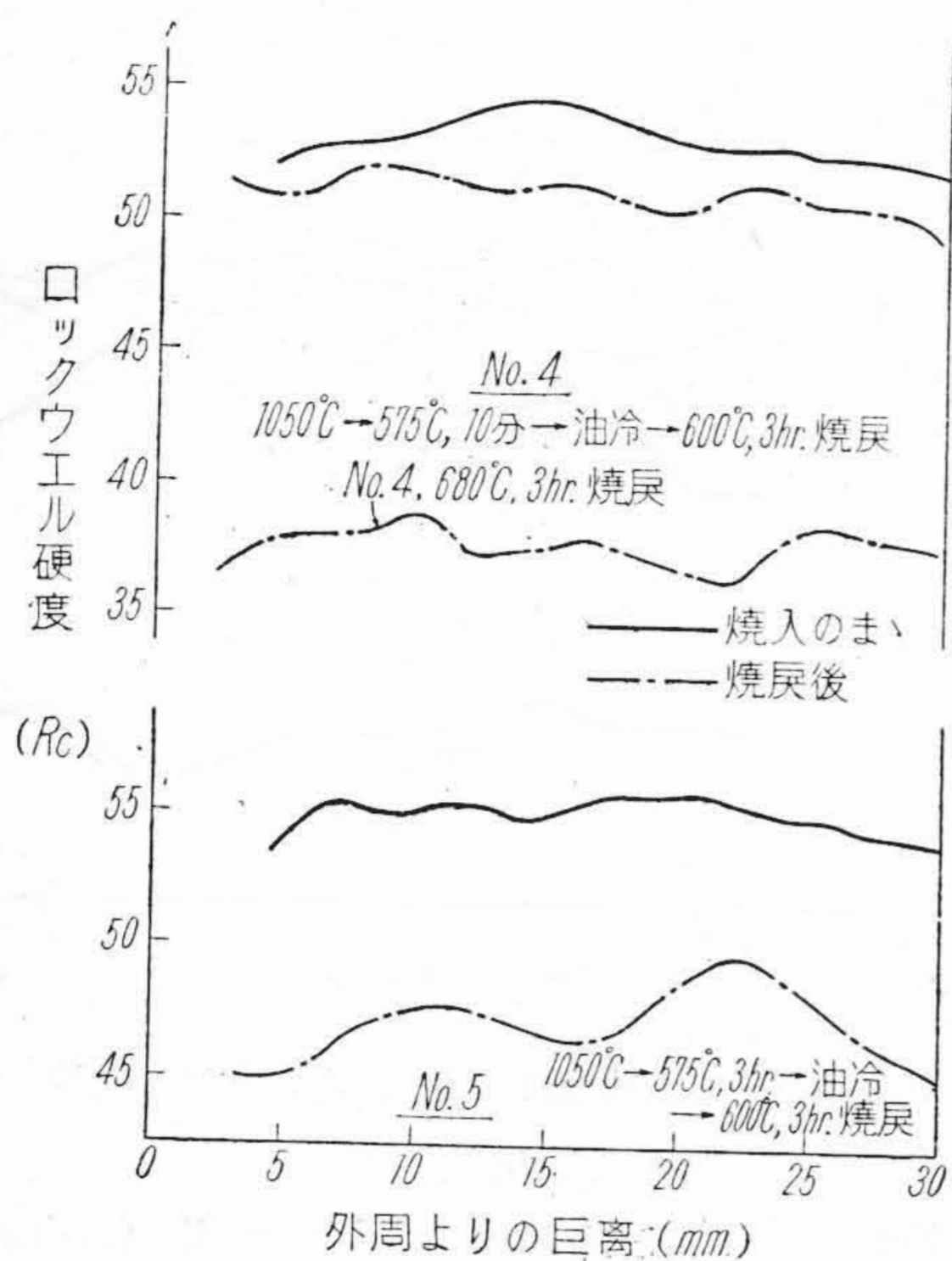
第 16 圖 各種熱処理に依る硬度分布の比較 (何れも焼戻後)

Fig. 16 Comparison of Rockwell Hardness-Distributions for Heat-treatment. (After Tempering)



第 17 圖 各試料毎の硬度分布の變化 (1)
Fig. 17 Change of Rockwell Hardness-Distributions for Each Sample. (1)

このことは試料が C%, Cr% が高い故もあり、又試料をきつくしぼるための切込を作った影響もあつたと思われるが、結局安全な No. 4 試料の処理法即ち 1,050°C → 575°C 鉛槽 40 分保持 → 油冷 → 600°C, 3 時間焼戻 → 油冷を選ぶべきであると考えられる。なお 400°C 及び 575°C 3 時間の恒温処理をした試料が割れた原因については判然としない。



第18圖 各試料毎の硬度分布の變化(2)
 Fig. 18 Change of Rockwell Hardness-Distributions for Each Sample. (2)

熱處理に於けるこの工具鋼の残留オーステナイトの擧動については著者等も目下検討中であり武田氏等⁶⁾よりも一部發表されている。

[VI] 結 言

以上製管用押出工具として用いられている熱間工具鋼

としてのHDC鋼につき主として熱處理方法の改善に關する検討結果を述べたが現在のところでは1,050°C→575°C 鉛槽約40分間保持→油冷→600°C 焼戻→油冷の方法が最良の方法と考えて實用している。然しこの鋼についてはなお解明すべき問題が多々あり今後解決に努力して行きたいと考えている。

なお高温に於いて更に強靱な工具鋼の出現を期待すると共に、工具消耗の他の因子の解決に使用者側として努力を續けたい。

終りに臨みこれら研究に際し色々御指導、御忠告下さった村上武次郎博士、小柴定雄博士、直接御協力下さった日立研究所の小野健二博士、小林其の他の諸兄及び日立電線工場の市川、田中の兩君に深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 菊田、外：日評 23 (1939) 501, 543.
- 2) 小柴、外：日評 27 (1944) 215.
- 3) 小柴、外：鐵と鋼 35 (1949) 110, 173, 211, 251, 345, 36 (1950) 104, 147, 211, 325, 614.
- 4) 多賀谷、外：鐵と鋼 36 (1950) 349. 37 (1951) 97.
- 5) 高橋、外：日本鐵鋼協會講演會第 37 回(昭24-4)
- 6) 武田、外： // 第 39 回(昭25-4) // 第 41 回(昭26-4)
- 7) 出口、外：鐵と鋼 35 (1949) 382, 36 (1950) 54.

特 許 紹 介

新案第 377480 號

直 流 機 械 田 附 修

電壓變動率の小さい直流機械に於ては、直巻線輪にダイバーターを挿入して微細な調整を行い、或は補極線輪にダイバーターをつけて補極の強さを調整することがある。このダイバーターは従來これを箱に収めて機の外部に設置したものであるが、本案に於ては圖に示すようにダイバーターをリング状に形成しこれをロッカーの外側に於て刷子保持器支持腕の外周を圍繞して取付け機の一部品として構成したものである。この構造によればダイバーターの附設は容易となり、且これが冷却も充分に行われる。(滑 川)

